D
35

D35

ÜBER DEN

EINFLUSS DER ADAPTATION

AUF

LICHT- UND FARBENEMPFINDUNG

UND

ÜBER DIE FUNKTION DER STÄBCHEN

VON

DR. J. VON KRIES,

DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTS IN FREIBURG I. B.

Separat-Abdruck aus den Berichten der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B. (Band IX, Heft 2).

FREIBURG I. B. UND LEIPZIG 1894
AKADEMISCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG VON J. C. B. MOHR
(PAUL SIEBECK).

Das
Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen
behält sich die Verlagsbuchhandlung vor.

Druck von C. A. Wagner in Freiburg i. B.

1241441

In den nachfolgenden Blättern möchte ich, vorbehaltlich eingehenderer Darlegung an anderer Stelle, über eine Reihe von Versuchen berichten, die mich in den letzten Monaten beschäftigt haben. Die Bedeutung derselben erblicke ich vorwiegend in gewissen sehr einfachen Vorstellungen, zu denen ich geführt werde, und die, wie ich glaube, für eine ganze Reihe von Erscheinungen die plausible Erklärung ergeben. Daher möchte ich gleich hier bemerken, dass ich nicht sicher bin, ob ich auf jene Vorstellungen gekommen wäre, wenn nicht die der letzten Zeit angehörigen Untersuchungen König's [1] mir zu Hülfe gekommen wären. Da ich in wichtigen Beziehungen auch den Folgerungen König's durchaus zustimmen muss, so könnte eine Mittheilung meinerseits über den Gegenstand füglich unterbleiben, wenn ich nicht, wie auseinanderzusetzen sein wird, in einem sehr wesentlichen Punkte glaubte von ihm abweichen zu müssen. Sollten aber auch gegenüber den Anschauungen König's sich die meinigen als die zutreffenderen erweisen, so würde diesem doch von dem dadurch etwa begründeten Fortschritt der überwiegende Antheil gebühren.

Den Ausgangspunkt meiner Versuche bildeten die Beobachtungen Hillebrand's über das lichtschwache Spektrum, speciell über die Art, wie dasselbe von dem durch längeren Aufenthalt im Dunkeln wohl ausgeruhten Auge gesehen wird. Bekanntlich erscheint nach

[1] A. König, Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Sitzungsberichte der Berliner Akademie 1894, S. 577.

H.'s Beobachtungen das Spektrum unter den genannten Umständen völlig farblos, selbst dann noch, wenn die Lichtstärke so weit gesteigert wird, dass seine Helligkeit eine erhebliche wird. Diese Möglichkeit, das Spektrum farblos zu sehen, ist in höchstem Masse vermindert, wenn das Auge durch längeren Aufenthalt im diffusen Tageslicht oder Betrachten einer hellen weissen Fläche die Dunkeladaptation eingebüsst hat. Diese Thatsache deutete sich sehr einfach, wenn man annahm, dass durch die wechselnde Hell- resp. Dunkeladaptation die Fähigkeit des Sehorgans, farblose Helligkeit zu empfinden, alterirt werde, die Fähigkeit zu farbigen Empfindungen dagegen nicht merklich beeinflusst. Das dunkeladaptirte Auge sieht schon bei sehr geringer Lichtstärke das Spektrum farblos hell; erst bei erheblich höheren Reizintensitäten mischt sich die Farbenempfindung bei. Bei dem für Hell adaptirten, oder weissermüdeten Auge ist die Wahrnehmung der farblosen Helligkeit gegenüber den Farben weit weniger im Uebergewicht. Es war nicht unberechtigt, in diesen Thatsachen einen Beweis für die Unabhängigkeit derjenigen Umstimmungen oder Ermüdungen des Sehorgans, welche sich auf die farblose Helligkeitsempfindung und derjenigen, welche sich auf die Farbenempfindungen beziehen, zu erblicken, wie dies Hillebrand gethan hat.

Es erschien mir nun zunächst naheliegend diese, mit Hering's optischer Theorie sich deckende Vorstellung an anderen Ermüdungsversuchen zu prüfen. Bleiben durch Ermüdung mit weissem Licht die farbigen Sehsubstanzen unbeeinflusst, so konnte erwartet werden, dass, wenn man sich die Aufgabe stellt, auf einer weissermüdeten und einer daranstossenden nicht gereizten Netzhautstelle die gleichen farbigen Empfindungen hervorzurufen, hierzu eine ungleiche Menge weisser, aber auf beiden die gleiche Menge „farbiger Valenz" erforderlich sein werde. An dem mit einer kleineren und einer grösseren Scheibe ausgerüsteten Farbenkreisel fixirte ich durch 60 Sek. einen Punkt an der Grenze der inneren Scheibe und des von der äusseren sichtbaren Ringes und zwar, bei nicht rotirenden Scheiben an einer Stelle, wo sich aussen weiss, innen schwarz befand. Die Wahl der

äusseren Sektoren gestattet dann das reagirende Licht, die Wahl der inneren Sektoren das Vergleichslicht nach Wunsch herzustellen. Enthielt nun das reagirende Licht z. B. 180° Blau und 180° Weiss, so konnte dem Vergleichslicht zunächst 180° Blau gegeben werden und versucht, mit Hülfe passender Abstufung eines weissen und schwarzen Sektors die gewünschte Gleichheit herzustellen. Dies gelang aber niemals. Mochte die innere Scheibe dem Ringe an Helligkeit gleich, mochte sie heller oder dunkler gemacht werden: sie erschien stets viel zu blau. Eine Gleichheit wurde erhalten, wenn man im Vergleichslichte nicht nur die „Weissvalenz", sondern auch die farbige verminderte. Und zwar musste, um Gleichheit zu erzielen, der farbige Sektor etwa auf den 3. Theil reducirt werden, ungefähr ebenso stark, wie der Antheil an farblosem Licht. Das Gleiche zeigte sich auch bei den anderen Farben. Um also auf der weissermüdeten und auf der benachbarten Stelle eine an Helligkeit und Sättigung gleiche farbige Empfindung zu erzeugen, muss auf der ersteren die farbige Valenz annähernd in demselben Verhältniss wie die weisse gesteigert sein. Diese Thatsache, obwohl mit Hering's Vorstellungen nicht geradezu unvereinbar, sprach jedenfalls nicht für die Unabhängigkeit der Weiss- und der Farbenermüdung und es erschien daher geboten, zu prüfen, ob für die Erscheinung des lichtschwachen Spektrums nicht eine andere Erklärung gefunden werden könne.

Eine solche schien sich zu bieten im Hinblick auf bekannte Eigenthümlichkeiten der Netzhautperipherie. Es ist oft bemerkt worden, dass diese in Bezug auf die Wahrnehmung sehr schwacher Lichter dem Centrum überlegen ist; es ist aber auch bekannt, dass sie viel schneller ermüdet. Folgerichtig wird diese Ueberlegenheit bei dunkeladaptirter Netzhaut viel stärker hervortreten. Es drängte sich somit die Frage auf, ob nicht die Erscheinung des lichtschwachen Spektrums lediglich darauf beruhe, dass bei dunkeladaptirtem Auge die von den excentrisch gelegenen Netzhautpartien gelieferten Empfindungen stärker ins Gewicht fallen, ob nicht vielleicht die scheinbare Farbenblindheit des adaptirten Auges nur die bekannte der Netzhautperipherie sei. Da es nicht wünschenswerth ist, die Erscheinungen durch

Fixation zu compliciren, so erschien es am besten, das Phänomen an einem kleinen farbigen Felde zu studiren und zwar mit Gestattung einer solchen Blickbewegung, dass das Feld in annähernd constantem Abstand vom Fixationspunkt bleibt. Ich benutzte also kleine, farbig erleuchtete Felder, und brachte in das sonst verdunkelte Gesichtsfeld ausser jenen und in passendem Abstande von ihnen noch eine Fixationslinie an, längs deren der Blick hin und her wandern durfte. Dabei wurde die Intensitätsänderung des Lichts in einer sehr einfachen und für diese Zwecke geeigneten Weise durch eine vor der Pupille befindliche enge Oeffnung bewirkt, deren Grösse mittels Mikrometerschraube variirt und abgelesen werden konnte. In dieser Weise geprüft erwies sich nun die erwähnte Vermuthung sogleich als unrichtig; die Hillebrand'sche Erscheinung besteht auch für kleine Felder von annähernd constantem Abstand von der Fovea. Sprach nun aber dieser Umstand zunächst für die Richtigkeit derjenigen Auffassung, in welcher H. die ganze Erscheinung gedeutet hat, so stiess ich andererseits zugleich auch auf Thatsachen, die mit derselben nicht wohl vereinbar schienen. Die Sichtbarkeit eines blauen Feldes nämlich gewinnt durch die Dunkel-Adaptation des Auges in auffälligster Weise; ohne die Weissermüdung besonders hoch zu treiben findet man, dass die Schwellenwerte für blaues Licht auf das 10fache und mehr von denjenigen ansteigen, die beim dunkeladaptirten Auge gefunden werden. Ganz anders dagegen bei Anwendung z. B. gelben Lichtes. Die Schwellenwerte bei weissermüdetem und bei adaptirtem Auge änderten sich hier bei ähnlichen Versuchsbedingungen weit weniger, kaum im Verhältnis 1 : 3. Beruhte nun die erste Wahrnehmung des Lichtes bei steigender Intensität stets auf der Erregung der schwarz-weissen Sehsubstanz, so müsste die Umstimmung derselben ihre Erregbarkeit durch die verschiedenen Lichter doch wohl im gleichen Verhältniss vermehren oder vermindern. Es kann also gesagt werden, dass die Dunkeladaptirung des Auges die Wahrnehmung einer farblosen Helligkeit im blauen Lichte ausserordentlich viel stärker begünstigt als im gelben.

Halten wir uns nun, um zu einer Lösung der Widersprüche zu gelangen, daran, dass die im Gelb und die im Blau hervorzurufende Helligkeitsempfindung durch gewisse Wechsel des Netzhautzustandes in ungleicher Weise beeinflusst werden, so sehen wir uns zu der Annahme gedrängt, dass es zwei verschiedene, eine farblose Helligkeitsempfindung bewirkende Vorgänge geben müsse. Dieser Vorstellung lässt sich nun eine ganz bestimmte Deutung geben und zwar unter Adoptirung einer keineswegs neuen Vorstellung, welche, schon oft ohne genügende Begründung ausgesprochen, wenig beachtet wurde, nunmehr aber in den neuerlich bekannt gewordenen Thatsachen eine ganz feste Begründung finden dürfte. Es ist die, dass wir neben dem, peripher durch die Zapfen repräsentirten trichromatischen Sehapparat einen peripher durch die Stäbchen repräsentirten monochromatischen, nur farblose Helligkeitsempfindung liefernden, besitzen, welch' letzterer als lichtempfindliche Substanz den Sehpurpur führt, und in seiner Funktion durch Verbrauch und Ansammlung dieses Körpers beeinflusst wird. Es ist dabei weiter anzunehmen, dass die Stäbchen, besonders wenn sie durch Dunkeladaptirung purpurreich sind, schon durch sehr geringes Licht erregt werden, welches die Zapfen noch nicht merklich erregt, dass sie aber andererseits auch bei starker Reizung nicht die Empfindung grosser Helligkeit, sondern nur die eines mässig hellen Grau zu liefern vermögen. Ferner ist zu beachten, dass der Sehpurpur durch langwelliges Licht, wie bekannt, nicht angegriffen wird, wir uns also auch die Stäbchen gegenüber diesem unempfindlich denken müssen. Das vom adaptirten Auge gesehene lichtschwache Spektrum beruht also darauf, dass bei purpurreicher Netzhaut mittel- und kurzwelliges Licht relativ leicht farblose Helligkeitsempfindung hervorzurufen vermag. In der purpurarmen Netzhaut wird die Leistung der Stäbchen gegenüber den trichromatischen Zapfen nicht mehr erheblich in Betracht kommen. Es erscheinen daher alle Lichter, sobald sie die Schwellenwerte überschreiten, auch

alsbald farbig. Dass die farblose Erscheinung schwacher Lichter bei dunkeladaptirter Netzhaut an die Zersetzung des Sehpurpurs geknüpft sei, ist von König bereits ausgesprochen worden, dem ich in diesem Punkt lediglich beipflichten kann. In sehr werthvoller Weise ist diese Anschauung durch den Nachweis unterstützt worden, dass die dem Sehpurpur eigenthümliche Lichtabsorption sich annähernd mit der Helligkeitsvertheilung in diesem farblos gesehenen Spektrum deckt.

Ein weiterer sehr einfacher Beweis für die Richtigkeit unserer Anschauung liegt darin, dass die, für den Purpurreichthum charakteristische Fähigkeit, schwache blaue Lichter in grossem Umfange farblos zu sehen, bei längerer Reizung des Auges mit einem rein rothen Licht nicht verloren geht (wie sie bei Ermüdung mit allen den Sehpurpur zersetzenden Lichtern es thut). Es ist dies eine unschwer zu constatirende Thatsache, die sehr deutlich lehrt, dass die in Betracht kommende Herabsetzung der Weissempfindlichkeit nicht mit Nothwendigkeit an die Empfindung grosser Helligkeit sich knüpft.

Nicht minder einfach gestaltet sich die Erklärung einer anderen, neuerdings gleichfalls besonders von Hillebrand erörterten Thatsache, nämlich des sogen. Purkinjeschen Phänomens. Von zwei bei hoher und mittlerer Lichtstärke gleich hell erscheinenden Feldern, einem blauen und einem rothen, erscheint bei gleichmässiger Abschwächung beider Lichter das blaue immer heller. H. hat dies so erklärt, dass er in der Gleichheit bei geringster Helligkeit die Gleichheit der weissen Valenz erblickte. Bei Vermehrung der Lichtstärke nimmt nach ihm das rothe Licht an scheinbarer Helligkeit weit stärker als das blaue zu, weil das Roth als solches erhellend, das Blau verdunkelnd wirkt. Wir werden nunmehr die Erscheinung ganz anders auffassen dürfen. — Während bei höherer Lichtstärke wesentlich die trichromatischen Elemente in Betracht kommen, tritt bei verminderter Lichtstärke immer mehr der Effekt der Stäbchen hervor und das Helligkeitsverhältniss verschiedener Farben verschiebt sich immer mehr gegen dasjenige, welches für die Stäbchen gilt.

Die Erklärung der beiden mehr genannten Phänomene aus den Eigenthümlichkeiten des Sehpurpurs wird als erste Prüfung die zu bestehen haben, dass beide für die, bekanntlich purpurfreie, Fovea centralis nicht existiren dürfen. Dies zeigt sich in der That. König hat schon angegeben und ich kann es bestätigen, dass das so charakteristische Auseinanderrücken der Helligkeits- und der Farbensehwelle für den Fixationspunkt selbst und seine nächste Umgebung nicht existirt. Auch ich finde, dass für kleine monochromatische Lichter an der Stelle des deutlichsten Sehers ein Spatium des Farblos-Erscheinens, wenn überhaupt, jedenfalls nur in minimalstem Umfange festgestellt werden kann, mag das Auge nun für Hell oder Dunkel adaptirt sein. Und ebenso existirt auch das Purkinjesche Phänomen für die Fovea nicht. Soweit wenigstens meine Fähigkeit für Vergleichung ungleichfarbiger Lichter geht, finde ich, dass kleine rothe und blaue Punkte, deren Helligkeit ich so wähle, dass sie (central) bei ab- und zunehmendem Licht gleichzeitig unsichtbar und sichtbar werden, auch bei gesteigertem gleich hell erscheinen.

Indem ich mich zu einer genaueren Besprechung der Funktion der Fovea wende, komme ich zu dem Punkte, in dem ich von den Anschauungen König's abweichen muss. Auch König hält, wie schon gesagt, den Sehpurpur für das bedingende Element der farblosen Empfindung schwachen Lichtes im dunkeladaptirten Auge. Aber er ist (in dieser Beziehung sich an Ebbinghaus anschliessend) der Ansicht, dass der Sehpurpur zugleich die Blau-Componente der Helmholtz'schen Theorie darstelle und erklärt folgerichtig die Fovea für blaublind. Ich kann dieser Meinung nicht beitreten, glaube vielmehr, dass der Sehpurpur resp. die Stäbchen lediglich der farblosen Lichtempfindung dienen und dass die Zapfen, somit auch die Fovea alle drei Componenten in sich vereinigen, dass sie den trichromatisch funktionirenden Apparat darstellen. In der That kann ich zunächst nicht zugeben, dass die Fovea blaublind in dem Sinne ist, wie sie es bei Fehlen der Blau-Componente sein müsste. Denn bei genügender Lichtstärke sehen wir doch blaue Lichtpunkte,

deren Bild völlig in die Fovea fällt; und wir sehen sie blau. Dass ein central unsichtbar gewordener blauer Punkt bei geringer Seitenwendung des Auges wieder auftaucht, ist richtig. Aber er taucht (von einem gleich zu erwähnenden Fall abgesehen) nicht blau, sondern farblos auf. Es besteht also, darin stimme ich König bei, eine Ueberlegenheit der Peripherie über die Fovea bezüglich der Wahrnehmung blauen Lichts; aber nur sofern dies farblos, nicht sofern es blau gesehen wird. Die erwähnte Ausnahme besteht darin, dass natürlich bei etwas längerer Fixation ein Bild auf der Fovea durch Ermüdung unsichtbar werden und bei Blickbewegung, alsdann auch blau, wieder auftauchen kann. Fixirt man, schwächt während dessen das Licht ab und bewegt das Auge, so kann der Punkt blau wieder auftauchen; aber der Grund für diese Mehrleistung der Peripherie liegt in der Ermüdung der Fovea. Um Störungen dieser Art auszuschliessen, kann man die Betrachtung auf die ersten Momente beschränken. Ich stelle z. B. im Gesichtsfelde eine horizontale Reihe blauer Punkte her und schaue zuerst in einem gewissen Abstande über sie hinweg, wobei sie als farblose Reihe gut sichtbar sind. Dann fixire ich plötzlich einen Punkt der Stelle und achte darauf, wie er und wie die anderen erscheinen. Dieser Versuch wird bei wechselnder Stärke der Erleuchtung wiederholt. Verschwindet der mittlere Punkt im Augenblicke der Fixation, so können diejenigen, die mehr als 30′ von ihm abstehen, sichtbar bleiben, aber sie sind stets farblos. Erscheinen sie zuerst farbig, so ist auch der mittlere (natürlich gleichfalls blau) sichtbar. Ich habe mich bei diesen und ähnlichen Versuchen von einer Ueberlegenheit der Seitentheile in Betreff des Blau-Sehens nie überzeugen können. Uebrigens müsste, selbst wenn eine solche existiren sollte, meines Erachtens doch eine andere Erklärung dafür gesucht werden, da der Sehpurpur in der Fovea völlig fehlt, während dieselbe doch der Blauempfindung jedenfalls nicht unfähig ist.

Unter den vermuthlich sehr zahlreichen Erscheinungen, welche sich auf dem Boden der hier entwickelten Anschauungen überraschend einfach erklären, will ich hier nur eine noch erwähnen, nämlich das

bekannte schwache Nachbild, welches hinter einem im Dunkeln bewegten leuchtenden Körper in bestimmter Entfernung herzulaufen scheint. Das Licht bewirkt zwei zeitlich auseinanderfallende Erregungen. Offenbar beruht dies auf der schnelleren Erregung der Zapfen und der etwas verspätet nachkommenden der Stäbchen [1]). Schon der von früherer Beobachtung mir geläufige Umstand, dass das Phänomen bei dunkeladaptirtem Auge bei Weitem am schönsten zu sehen ist, machte diese Auffassung sehr wahrscheinlich. Ich finde nunmehr, dass die Erscheinung, bei blauem Licht hervorragend schön sichtbar, bei rein rothem völlig fehlt. Die Erscheinung ist leicht zu beobachten, wenn man, am besten in schwarzem Zimmer, das Licht eines Auer-Brenners in einer Kugel von 6—8 cm Durchmesser spiegeln lässt und eine solche Kugel (die zum Schmuck der Christbäume gebräuchlichen eignen sich sehr gut) vor sich im Kreise schwingt, natürlich ohne mit dem Blick zu folgen. Schaue ich auf diese durch einen mit ammoniakalischer Kupferlösung gefüllten Trog, so sehe ich, an den hellen Punkt sich anschliessend, einen kurzen, blauleuchtenden Streifen und hierauf folgt ein etwa fünffach längerer ganz matt und ein wenig gelblich leuchtender Schweif. Man hat den Eindruck, als wenn man einen an dem hellen Objekt befestigten schwach leuchtenden Faden in der Luft herumschwingen würde. Ich sehe die schwache durch die Erregung der Stäbchen bedingte Lichtbahn scharf abgegrenzt gegen das kurze, helle, dem hellen Punkt unmittelbar angeschlossene Stück, in welchem die Zapfen in Erregung sind; zuweilen erscheinen mir beide Theile durch einen ganz dunklen Zwischenraum getrennt, der andeutet, dass bei kurzer Reizung einer Netzhautstelle die Thätigkeit der Stäbchen erst beginnt, wenn die der Zapfen bereits aufgehört hat. Man sieht hier die durch den gleichen Reiz bewirkten Effekte der beiden Schapparate, in der greif-

[1] Das von den Stäbchen gelieferte positive Nachbild verschmilzt übrigens mit dem negativ complementär gefärbten der Zapfen, wodurch dann die von Purkinje angegebene Beschaffenheit als eine positiv complementäre entsteht. Vgl. bes. Exner, Der Erregungsvorgang im Schnervenapparate. Sitzungsber. der Wiener Akademie, Math. phys. Cl. III. Bd. LXV, 1872.

barsten Weise getrennt, unmittelbar vor sich. Beiläufig spricht auch diese Erscheinung in hohem Grade gegen die Identificirung der Blau-Componente mit dem Sehpurpur, dem man andernfalls zwei zeitlich getrennte Erregungen zuschreiben müsste. — Bei Betrachtung durch ein rothes Glas sieht man hinter dem lichten Punkte nur eine kurze rothe Linie herlaufen; von dem langen Schweif ist gar nichts zu sehen.

Ferner sei erwähnt, dass auch gewisse Fälle monochromatischen Sehens, insbesondere die einseitigen totalen Farbenblindheiten, wohl nunmehr dahin aufzufassen sein werden, dass nicht ein Antheil unsrer trichromatischen Apparate, sondern diese in toto fehlen oder funktionsunfähig sind, der Monochromat mit seinen Stäbchen sieht. Damit stimmt überein, dass, wie Hering gezeigt, hier die Vertheilung der Helligkeit im Spektrum die nämliche ist, wie sie der Farbentüchtige mit dunkeladaptirtem Auge im lichtschwachen Spektrum sieht.

Die Annahme eines monochromatisch funktionirenden Apparates neben dem meist überwiegend zur Geltung kommenden trichromatischen, dürften von den Physiologen, die im Wesentlichen auf dem Boden der Young-Helmholtz'schen Lehre stehen, alle diejenigen leicht acceptabel finden, welche, wie Donders und ich selbst[1], in der Roth-, Grün- und Blau-Componente eine periphere Gliederung zu sehn geneigt sind, deren Annahme über die Vorstellungen betreffs der Gehirnprozesse nichts präjudicirt. War man geneigt, sich die centralen Prozesse in einer die Helligkeit oder Dunkelheit von den farbigen Bestimmungen trennenden Weise gegliedert zu denken, so hat die Annahme eines monochromatisch funktionirenden und nur farblose Empfindungen liefernden Endapparates neben dem trichromatischen nichts Befremdendes. Auf dem Boden der Hering'schen Vorstellungen, wenigstens derjenigen, welche den eigentlichen Kern der Theorie ausmachen, ist natürlich die gleiche Annahme noch

[1] Vgl. v. Kries, Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse 1882, S. 45, 166 u. a.

näherliegend. Allerdings aber muss betont werden, dass, sofern die oben entwickelte Auffassung sich als richtig erweist, die neueren, im Anschlusse an Hillebrand's Beobachtungen gegebenen Ausgestaltungen der Theorie in Fortfall kommen dürften. So zunächst die Lehre von der specifischen Helligkeit der Farben. Aber auch die Beweise, welche Hillebrand's Versuche für die Unabhängigkeit der Weiss- und der Farbenermüdung zu enthalten schienen, können nicht mehr als stichhaltig gelten. Eine Anzahl von Feststellungen, die den Schwarz-weiss-Antheil unsres Sehorgans zu isoliren schienen, isolirten thatsächlich nur unseren monochromatischen Apparat von dem trichromatischen, ohne über die Gliederung dieses letzteren etwas zu lehren. Man könnte daher vielleicht sagen, dass in Bezug auf diesen einmal wieder weniger denn je als sichergestellt gelten darf. Doch erscheint die Aussicht, über ihn etwas zu erfahren, durch die Ausschliessung gewisser irreführender Complicationen jetzt erheblich näher gerückt. Hierbei denke ich namentlich an die Ermittlung der für ihn geltenden Ermüdungs- oder Umstimmungsverhältnisse. Ich stehe in dieser Beziehung auch jetzt noch auf dem früher präcisirten Standpunkt[1], dass auch bei Annahme einer peripheren dreicomponentigen Gliederung (welche Annahme mir nach wie vor unerlässlich scheint), es zunächst dahingestellt bleibt, in welchem Theil des Apparats und in welcher Gliederung sich die Umstimmungen vollziehen. Die für den monochromatischen Apparat wohl kaum abweisbare Annahme eines ganz peripheren Sitzes wird bezüglich des trichromatischen beachtenswerth aber keineswegs entscheidend sein dürfen. Die Eingangs erwähnten Versuche mit Farben mittlerer Sättigung sind den Hering'schen Vorstellungen nicht günstig; die Versuche von Hess scheinen sich der Helmholtz'schen Auffassung der Ermüdungsvorgänge nicht wohl zu fügen. Für die Ermittlung des wahren Sachverhalts bieten sich aber noch zahlreiche Versuchswege; von diesen habe ich einige schon vor mehr als 5 Jahren ein-

[1] v. Kries, Nochmalige Bemerkung zur Theorie der Gesichtsempfindungen. Archiv für Physiologie 1888, S. 384 Anm.

geschlagen. Damals aber stiess ich, wegen der Ignorirung der Stäbchenfunktion auf widerspruchsvolle und verwirrende Ergebnisse, die ich nicht zu deuten wusste. Für einen Theil derselben schien dann die Lehre Hillebrand's von der specifischen Helligkeit der Farben eine Erklärung zu liefern. Gegenwärtig wird es sich darum handeln, Versuchsweisen zu finden, in denen wir die Funktion der Zapfen möglichst ohne Einmischung der Stäbchen untersuchen können, was vielleicht nicht unmöglich sein wird.